創成電極工具を用いた微細放電加工*

和合　健**、飯村　崇**、鄭　鋼***、藤村　和彦***

IMY 連携会議「自動車部材関連における超精密加工技術」において岩手県は放電加工原理による微細穴加工についてプラスチック歯車金型を対象に取り組んでいる。ここではφ240±5μm 深さ 2.4mm を目標値としてパイプ電極による深穴加工を試みた。φ0.1mm の Cu パイプ電極を使用して２種類の加工条件 D1(電気条件 E1951)、D2(電気条件 E855)を設定して加工した結果、双方で実用的な深穴加工ができることを確認した。

キーワード：放電加工、深穴加工、パイプ電極、プラスチック歯車金型

Study of Micro-EDM Processing using Electrode Tool Formed by EDM

WAGO Takeshi, IIMURA Takashi, ZHENG Gang and FUJIMURA Kazuhiko

Micro hole processing by electrical discharge machining principle was studied by Iwate prefecture group in order to manufacture die of plastic gear, and this study was positioned in IMY cooperation meeting “Development of ultra-precision machining technology for automobile manufacturing”. Deep holes were processed using pipe electrode tool to set nominal value as φ240±5μm depth to 2.4mm. As a results, it was found that deep hole processing could be performed practically on both conditions. Two conditions was showed below, so common setting was pipe electrode tool of Cuφ0.1mm, difference settings were D1(electrical pack as E1951) and D2(electrical pack as E855).

key words : EDM, deep hole processing, pipe electrode tool, die of plastic gear

１　緒　　言

本テーマは宮城県、山形県、岩手県で構成する IMY 連携会議「自動車部材関連における超精密加工技術」で共同研究として取り組んでいる。岩手県の分担課題は放電加工原理による微細穴加工についてプラスチック歯車金型を対象としている。プラスチック歯車は大量生産できることから製品の低コスト化が可能である。最近では情報家電分野などの精密動作を必要とする機器においても金属製歯車からプラスチック製歯車への置き換えが進んでおり、さらに微小なサイズのプラスチック歯車製作のためプラスチック成形金型の微細化が求められている。

本報では、パイプ電極を使用した微細軸穴を形成する加工方法について試みた。

２　実験方法

２－１　目標値

プラスチック歯車のローター軸はモールドの流れ性を考慮した穴径の決定が必要となる。ここでは金型軸穴にモールドが流れ込む最小穴径を経験値からφ0.24mm と定義した。金型軸穴の目標値はφ0.24±0.005mm 深さ 2.4mm として穴径の高精度化と L/D 比が 10 倍の微細深穴形成する。深穴加工を第一目標とした場合は放電加工後に生じるスラッジ除去方法が要点になる。通常は電極ジャンプ、電極揺動、加工液噴出、噴射によりスラッジ除去を行っている。ここで噴出とはパイプ穴から加工液を排出する場合、噴射とは加工槽内のノズルから加工液を排出する場合を指す。今回は細穴加工が対象であるので大面積加工で有効となる電極ジャンプ、電極揺動は効果が小さいと予想され、細穴加工で最も汎用的に使用されているパイプ電極による加工液噴出がスラッジ除去に最も有効であると予測して実験を進めた。

２－２　穴径の高精度化

放電加工によって穴径をφ0.24±0.005mm に仕上げる場合、パイプ電極を使用した時の穴径は式(1)で示される。

$$Dia=2pp+2yd+2gp \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで、Dia は穴径(mm)、pp はパイプ電極の半径、yd は揺動半径、gp は放電ギャップと振れ誤差を足した余分値となる。パイプ内径により生じる放電残留片（以下､へそという）除去できる最小穴径を図１で説明する。中心線の交点が揺動中心であり揺動半径をパイプ電極内径の半径未満でへそ除去ができる。式(2)～式(4)にφ

*　基盤的・先導的技術研究開発事業
**　電子機械技術部
***　(株)ニュートン

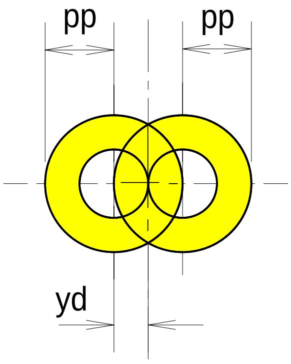


図１　へそ除去時の最小穴径

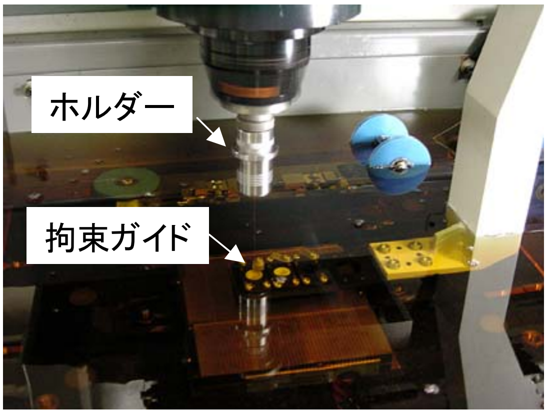


図２　電極ホルダーと拘束ガイド

0.2mm、φ0.1mm、φ0.08mmのパイプ電極径を使用したへそ除去最小穴径を示す。へそ除去の最小径をDia_{min}とすると以下の関係式となる。ここで放電ギャップと振れ誤差を合計した余分値は 0.007mmと仮定した。

$$Dia(\phi 0.2)=2\times 0.1+2\times 0.05+2\times \underline{0.007} =0.314mm<Dia_{min} \quad \cdots\cdots (2)$$

$$Dia(\phi 0.1)=2\times 0.05+2\times 0.025+2\times \underline{0.007} =0.164mm<Dia_{min} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$Dia(\phi 0.08)=2\times 0.04+2\times 0.02+2\times \underline{0.007} =0.127mm<Dia_{min} \quad \cdots\cdots (4)$$

上式で示したへそ除去最小穴径を目安にして、下線で示した余分値を加工条件毎に定量化することでパイプ電極により目標値φ0.24±0.005mm を達成できると推測した。

２－３　実験装置

放電加工機は三菱電機製 EDSCAN8E を使用し、図２に示すパイプ電極を固定するホルダーは菱電工機製 RCH-03LA を使用した。このホルダーはシール機能を持ち電極保持径が 0～0.5mm に対応できるユニバーサルな保持機構を有している。パイプ電極の注意点は既存の電極をコレットで固定するため芯振れ誤差が生じる。パイプ電極が通常使用される長さ 100mm 程度の長い電極では図２に示す拘束ガイドを使用して振れ誤差を低減するが拘束ガイドと電極経の差により振れ誤差が生じ、穴径の高精度化のためには振れ誤差を定量化する必要がある。

３　実験その１：φ0.2mm パイプ電極（電気条件が E1952 の場合）

３－１　実験方法

外径φ0.2mmのCuパイプ電極を使用して異なる３種類の加工条件を設定した。共通設定は加工物が SKH51(HRC60)、ツールパスは単純Ｚ下送り、パイプ内径から加工液噴出、Ｅパック（電気条件）[1)]はE1952 とした。E1952 はCuパイプφ0.2mmを使用する場合の一般的な推奨条件である。加工条件A1、A2、A3 の異なる設定は加工深さ指令値がA1 でZ-2.0mm、A2 でZ-4.0mm、A3 でZ-20.0mmのみである。ここでは加工物表面をZ=0 とした。

３－２　実験結果及び考察

放電加工がミーリング加工と比較して大きく異なる点は加工物除去に伴い電極が消耗することである。表１のとおり A1 では Z-2.0 の指令値に対して実際の加工深さは 1.000mm、A2 では Z-4.0 の指令値に対して加工深さ 2.312mm 、A3 では Z-20.0 の指令値で加工深さ 13.394mm となった。電極消耗率α(%)は式(5)から算出した。

$$\alpha=(a/t)\times 100 \quad \cdots\cdots (5)$$

ここで a は電極消耗長さ(mm)、t は加工深さ(mm)となる。電極消耗率は A1 が 100.9%、A2 が 73.4%、A3 が 202.5%となり加工深さが大きくなるに従い電極消耗率も大きくなる傾向がある。図３から加工深さの増加に伴い電極消耗長さが増大していることがわかる。これは穴深さが大きくなるほどスラッジ排出が困難になり放電加工効率が低下するためと思われる。パイプ電極による深穴加工はスラッジ除去性能が高く L/D 比は最大で A2 の時に 2.312/φ0.246=9.4 を得た。加工速度は 30μm/min 程度であり A1～A3 では大きな差は見られない。パイプ電極の噴出を使用するスラッジ除去により加工することで深穴加工が容易に行えることが分かったので今後はパイプ電極径の縮小、加工径精度の二つに要点を置くこととした。

表１　実験その１の加工条件

加工条件	A1	A2	A3
Eパック	E1952	E1952	E1952
電極(mm)	Cuφ0.2	Cuφ0.2	Cuφ0.2
加工深さ指令値(mm)	−2	−4	−20
加工時間(h:m:s)	31'2"	43'50"	3h24'44"
電極消耗率(%)	100.9	73.4	202.5
加工深さ(mm)	1.000	2.312	6.614
消耗長さ(mm)	1.009	1.698	13.394
加工速度(mm/min)	0.032	0.053	0.032
加工穴径φ(mm)	0.240	0.246	−
径拡大量(mm)	0.040	0.046	−

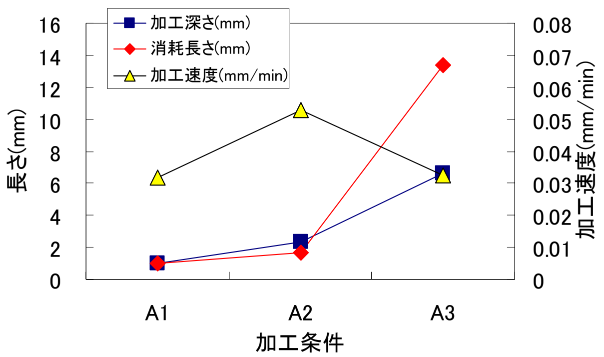


図３　Cu パイプ電極ϕ0.2（E1952）の場合

表２　実験その２の加工条件

加工条件		B1	B2	B3
電気条件	Micro-SF回路	ON	OFF	OFF
	極間コンデンサ	OFF	OFF	ON
	電圧Low	ON	OFF	OFF
	Eパック	E855	E855	E855
電極(mm)		Cuϕ0.2	Cuϕ0.2	Cuϕ0.2
加工深さ指令値(mm)		−2	−2	−2
加工時間(h:m:s)		41’18”	1h43’52”	1h6’43”
電極消耗率(%)		15.1	68.7	135.5
加工深さ(mm)		0.037	0.687	0.442
消耗長さ(mm)		0.005	0.472	0.599
加工速度(μm/min)		0.0009	0.0066	0.0066
加工穴径ϕ(mm)		0.2146	0.2210	0.2223
径拡大量(mm)		0.015	0.021	0.022

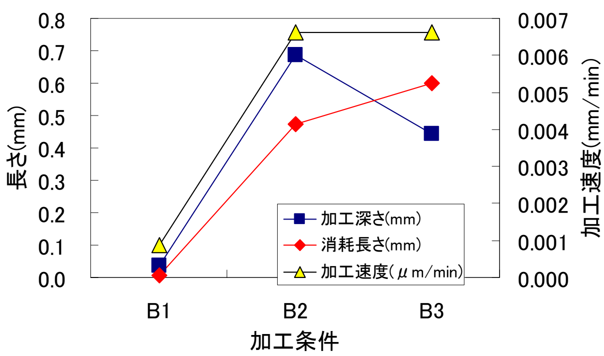


図４　Cu パイプ電極ϕ0.2（E855）の場合

４　実験その２：ϕ0.2mm パイプ電極（電気条件が E855 の場合）

４－１　実験方法

第３項の実験その１ではメーカが推奨する通常のパイプ電極を使用した場合の電気条件 E1952 を設定した。電気条件 E1952 では放電ギャップと振れ誤差を含めた径拡大量が表１より A1 で 0.040mm、A2 で 0.046mm となった。加工穴径は A1 で 0.246mm、A2 で 0.240mm となり目標値ϕ0.24mm と比較して同等以上であるため穴経の仕上げとへそを取り除くことが出来ない。電気条件を弱くすることで径拡大量の低減を試みた。加工条件 B1、B2、B3 の異なる３種類を設定した。共通条件は電極が Cu パイプϕ0.2mm、加工物が SKH51(HRC60)、噴出有り、ツールパスは Z 単純下送り Z-2.0mm とした。異なる加工条件は表２に示すとおり電気条件において Micro-SF 回路、極間コンデンサ、電圧 Low となる３つの微細放電設定値の組み合わせを変えた。大元の電気条件となる E パックは３種類とも共通の E855 とした。

４－２　実験結果及び考察

E パックが E855 とはピーク電流 IP が 0A の設定で加工機本体をコンデンサとする浮遊容量を使用して放電加工を行う極小電気条件である。E855 に対して Micro-SF 回路、極間コンデンサ、電圧 Low の微細放電設定値を付加することにより目的に応じた電気加工条件を設定することができる。B1 が最小電気条件の組み合わせとなり 41’18”で加工を中断した。図４のとおり加工速度は 0.9 μm/min で加工深さは 0.037mm、電極消耗率は 15.1%であった。次に弱い電気条件は B2 ですべての微細放電設定値が OFF である。加工速度は 6.6mm/min で電極消耗率は 68.7%であった。B3 は極間コンデンサが ON で３つの中では最も強い電気条件である。加工速度は 6.6mm/min で電極消耗率は 135.5%であった。この実験で最も注目している加工穴径は B1 でϕ0.2146mm、B2 でϕ0.2210mm、B3 でϕ0.2223mm となり目標値ϕ0.24mm を B3 で 0.0177μm 下回った。径拡大量は B1 で 0.015mm、B2 で 0.021mm、B3 で 0.022mm となり E1952 の A1 の径拡大量 0.040mm と比較して半分程度に縮小化し、これは電気条件を小さくしたために放電ギャップが小さくなったためと思われる。E855 を使用することにより放電ギャップは小さくなることは分かったが、加工能率を考慮した場合は E1952 の加工速度が A1 で 0.032mm/min に対して E855 の加工速度が B2 では 0.0066mm/min となり 4.8 倍異なる。加工能率と穴径の高精度化を追求するためにはさらに細いパイプ電極を使用する必要があることがわかった。

５　実験その３：ϕ0.1mm パイプ電極

５－１　実験方法

表３のとおり外径ϕ0.1mm、内径ϕ0.05mm の Cu パイプ電極を使用して２種類の加工条件 D1、D2 を設定した。加工条件 D1 は電気条件 E パックが E1951、D2 が E855 とした。E855 時の微細放電設定は Micro-SF 回路が ON、極間コンデンサが OFF、電圧 Low が ON とした。共通条件は加工物が SKH51(HRC60)、ツールパスは単純 Z 下送り Z-0.8mm とした。加工穴の形状を測定するために２枚の平板を互いに合わせてバイスで挟み固定し、２枚板の接触線と加工穴中心が一致するように電極中心を位置合わせして深穴加工をした。加工後に平板の断面を測定顕微鏡で寸法測定することにより加工穴の円筒度を求めることができる。

５－２　実験結果及び考察

ϕ0.1mm のパイプ電極では内径がϕ0.05mm となるため加工液がパイプ内径を通りパイプ先端から排出され

表３　実験その３の加工条件

加工条件	D1	D2
Eパック	E1951	E855
電極(mm)	Cu φ 0.1	Cu φ 0.1
加工深さ指令値(mm)	−0.8	−0.8
加工時間(h:m:s)	9’2”	41’11”
電極消耗率(%)	121.78	14.06
加工深さ(mm)	0.374	0.664
消耗長さ(mm)	0.455	0.212
加工速度(mm/min)	0.041	0.016
加工穴径 φ (mm)	0.146	0.120
径拡大量(mm)	0.046	0.020

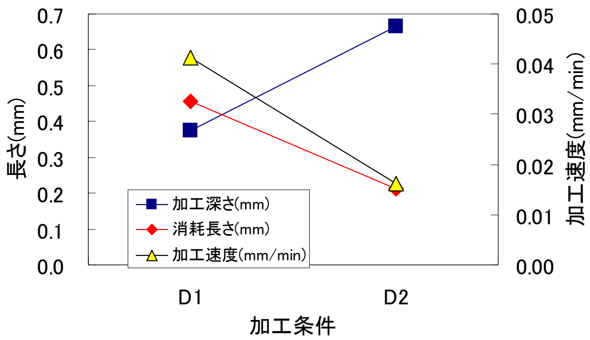


図５　Cu パイプ電極 φ 0.1 の場合

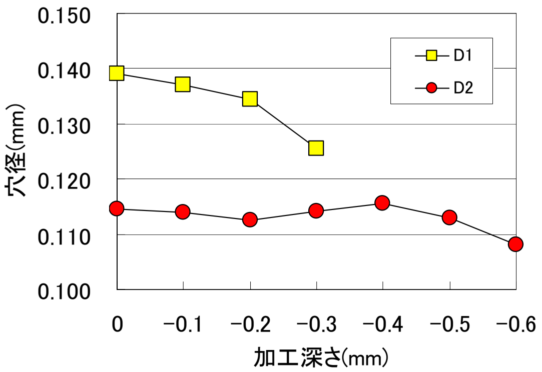


図６　Cu パイプ電極 φ 0.1 の軸穴の円筒度

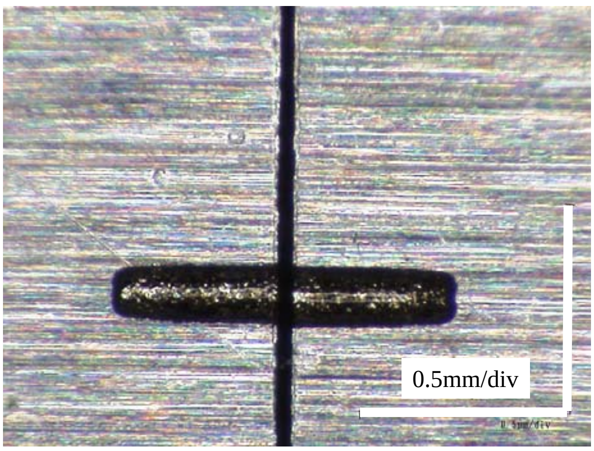


図７　D1 の場合の軸穴断面図

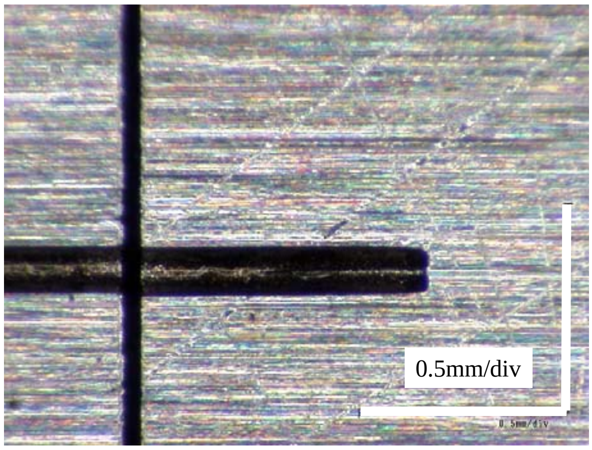


図８　D2 の場合の軸穴断面図

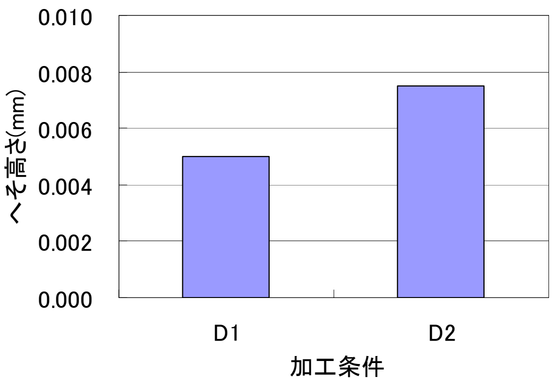


図９　Cu パイプ電極 φ 0.1 の場合のへそ高さ

る現象が達成できるかを検証したところ雫程度の勢いではあるが加工液が噴出できることを確認した。図５のとおり電気条件を E1951 とした D1 は加工深さ 0.374mm で加工を中断しその時点での電極消耗率は 121.7%、加工速度は 0.041mm/min であった。電気条件を E855 とした D2 は加工深さ 0.664mm で加工を中断しその時点での電極消耗率は 14.1%、加工速度は 0.016mm/min であった。D2 では当初の予想を上回る大きな加工速度となり D1 と D2 の双方で実用的な深穴加工ができることを確認した。加工穴径は D1 で φ 0.146mm、D2 で φ 0.120mm となり目標値 φ 0.24mm の穴径加工を行うために D1 の場合で 0.094mm となる穴径仕上げを行うための十分な余裕寸法が得られた。径拡大量は D1 で 0.046mm、D2 で 0.020mm となり両者の差 0.026mm は放電ギャップ分と思われ、加工径精度の追求時に電気条件を変更することによりオフセット機能として有効活用できると予想した。互い合わせた平板の穴断面形状を測定して円筒度を求めた。測定方法は平板上面の傾きを測定機のチルト機構を使用して測定機の機械座標系と一致するように調整した。図６に穴深さ 0.1mm 間隔で測定した穴径の変動を示し、図７及び図８に各条件での軸穴断面図を示す。D1 では穴深さが大きくなるに従い穴径が小さくなり、加工穴の上面と底面の差は穴径で 0.0136mm となった。D2 では Z-0.4mm まで穴径上面と

の差は非常に小さいが Z-0.5mm で穴径上面との差は 0.0065mm となった。D1 は D2 に比べて電気条件が強いため電極先端が消耗したため軸穴形状が先細りになったと思われる。D2 では軸穴形状の先細りも非常に小さく良好な結果が得られた。へそ高さを図９に示す。D1 で 0.005mm、D2 で 0.0075mm のへそが測定された。φ0.1 パイプ電極を使用することにより通常は残るへそがパイプ内径で生じる放電加工現象により除去されていた。φ0.1 パイプ電極を使用することによりへそ除去が軸穴加工と同時に行われ有効作用となった。

６　結　　言

パイプ電極による深穴加工に取り組み以下の事項が明らかとなった。

(1) 外径φ0.2mm の Cu パイプ電極を使用し電気条件は通常加工で使用する E1952 により加工深さ指令値を A1: Z-2.0mm、A2: Z-4.0mm、A3: Z-20.0mm として加工した。その結果、電極消耗率は A1 が 100.9%、A2 が 73.4%、A3 が 202.5%となり加工深さが大きくなるに従い電極消耗率も大きくなる傾向がある。

(2) 外径φ0.2mm の Cu パイプ電極を使用し極小電気条件の E855 と３種類の微細放電設置値の組み合わせになる B1～B3 により加工した。その結果、加工穴径は B1 でφ0.2146mm、B2 でφ0.2210mm、B3 でφ0.2223mm となり目標値φ0.24mm を下回ることができた。

(3) Cu パイプφ0.1mm の電極を使用して２種類の加工条件 D1(電気条件 E1951)、D2(電気条件 E855)を設定して加工した。その結果、D1 は加工深さ 0.374mm 時の加工速度が 0.041mm/min、D2 は加工深さ 0.664mm 時の加工速度が 0.016mm/min となり双方で実用的な深穴加工ができることを確認した。

(4) φ0.1 パイプ電極を使用することにより通常は残るへそがパイプ内径で生じる放電加工現象により除去できることがわかった。

文　　献

1) 三菱電機(株)：三菱 NC 型彫放電加工機 EX シリーズ取扱説明書